

*ANALYSE DES PLANTES
ET PROBLÈMES DES
FUMURES MINÉRALES*

*PLANT ANALYSIS
AND
FERTILIZER PROBLEMS*

3472. -- Imprimerie JOUVE, 15, rue Racine, Paris. — 5-1957
Dépôt légal : 2^e trimestre 1957

PLANT ANALYSIS
AND FERTILIZER PROBLEMS

PFLANZENANALYSE UND PROBLEME
DER MINERALISCHEN DUNGEMITTEL

ANALYSE DES PLANTES
ET PROBLÈMES DES FUMURES MINÉRALES

INSTITUT DE RECHERCHES POUR LES HUILES ET OLÉAGINEUX



PLANT ANALYSIS AND FERTILIZER PROBLEMS

PFLANZENANALYSE UND PROBLEME DER MINERALISCHEN DUNGEMITTEL

ANALYSE DES PLANTES ET PROBLÈMES DES FUMURES MINÉRALES

Colloque organisé par l'I. R. H. O., sous la présidence de

T. WALLACE

Professeur à l'Université de Bristol
dans le cadre du VI^e Congrès International de la Science du Sol
Paris, 1956

I. R. H. O.

11, Square Pétrarque — PARIS (16^e),

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Liste des participants au colloque	3
Préface (français, anglais, allemand)	5
L. MAUME. — Ouverture du colloque	9

I. — QUESTIONS GÉNÉRALES

T. WALLACE (U. K.). — Methods of Diagnosing the Mineral Status of Plants	13
J. C. CAIN (U. S. A.). — Some Problems of Foliar Diagnosis for Orchard Fertilizer Recommendations	23
M. V. HOMÈS et G. H. J. VAN SCHOOR (Belgique). — Composition minérale du tabac en fonction du milieu nutritif	32
G. H. J. VAN SCHOOR (Belgique). — Composition minérale du cotonnier en fonction du milieu nutritif	54
M. J. CHKOLNIK, M. M. STEKLOVA, N. A. MAKAROVA, N. V. KOVALIEVA, et V. N. GRETCHISTCHEVA. — Rôle physiologique du bore chez les plantes	69
P. GOUNY (France). — Observations sur les relations entre la composition minérale de la plante et le rendement	87
E. J. HEWITT (U. K.). — Some Aspects of the Relationships of nutrient Supply to nutrient Uptake and Growth of Plants as revealed from Nutrient Culture Experiments	104
D. J. D. NICHOLAS (U. K.). — An Appraisal of the Use of Chemical Tissue Tests for Determining the Mineral Status of Crop Plants	119
V. TSERLING (U. R. S. S.). — Le diagnostic du besoin des plantes en engrais	140
L. LEYTON (U. K.). — Needle Composition in Relation to the Growth and Nutrition of Japanese Larch	143
C. O. TAMM (Suède). — The Effects of Nitrogen Fertilization on Tree Growth and Foliage Composition in a Forest Stand	150
J. A. COOK et T. KISHABA (U. S. A.). — Using Leaf Symptoms and Foliar Analyses to diagnose Fertilizer Needs in California Vineyards	158
P. PREVOT et M. OLLAGNIER (France). — Méthode d'utilisation du diagnostic foliaire	177

II. — OLIGO-ÉLÉMENTS

P. A. WLASSJUK (U. R. S. S.). — Verbesserung der Pflanzennährungsbedingungen durch Mangandüngemittel	195
E. BEYERS (Union South Africa). — Occurrence and Correction of Micro-Element and Magnesium Deficiencies in Deciduous Orchards and Vineyards in the Union of South Africa	201

J. MAISTRE (France). — Contribution à l'étude de la nutrition minérale de l'arachide. La carence borique et ses effets	215
N. WELLS (Nouvelle-Zélande). — Lime-Superphosphate Fertilizer Top-dressing of Soils Derived from Basalt and Andesite and its Effect on Element Levels of a Grass.	224
R. GASSER et J. MÜLLER (Suisse). — Behandlung von Pflanzen zur Bekämpfung der Eisenchlorose.	231

III. — ANALYSE DU SOL ET DE LA PLANTE

R. L. MITCHELL, J. W. S. REITH et I. M. JOHNSTON (U. K.). — Soil Copper Status and Plant Uptake.	249
M. OLLAGNIER et P. PREVOT (France). — Comparaison du diagnostic foliaire et de l'analyse des sols pour la détermination des besoins en engrais	262
H. R. OPPENHEIMER (Israël). — The Influence of the Soil on the Development and the mineral Composition of the Aleppo Pine	272
W. S. ILJIN (Venezuela). — Tropical Soils and the Chemical Composition of Plants.	281

IV. — CULTURES PÉRENNES

C. BOULD (U. K.). — Recent Work on Foliar Diagnosis in relation to the Nutrition of some Deciduous Trees and Soft Fruit Crops.	299
A. BOUAT (France). — La fumure de l'olivier : la solution apportée par le diagnostic foliaire	311
J. C. PRALORAN et F. MINOT (Maroc). — L'alimentation minérale des orangers d'après l'analyse des feuilles.	322
J. LIWERANT (France). — Influence du mode d'application des engrais sur leur efficacité en culture fruitière.	338
G. REINKEN (Allemagne). — Über das Aneignungsvermögen von Apfelbäumen für schwerlösliche Phosphate.	351
E. R. BEAUFILS (France). — Recherche d'une exploitation rationnelle de l'hévéa d'après un diagnostic physiologique reposant sur l'analyse minérale de diverses parties de la plante.	360
H. BROESHART (Congo Belge). — Some Aspects of Mineral Deficiencies and the Chemical Composition of Oil Palms.	377
J. F. LÉVY (France). — Résultats obtenus grâce au diagnostic foliaire de la vigne.	384

V. — CULTURES ANNUELLES

J. BELEY (France). — Mode de prélèvement des échantillons de feuilles de riz en vue du diagnostic foliaire.	397
J. DULAC (France). — La relation « azote-rendement » chez les céréales. .	400

Recherche d'une exploitation rationnelle de l'hévéa d'après un diagnostic physiologique reposant sur l'analyse minérale de diverses parties de la plante

par E.-R. BEAUFILS

Institut Français du Caoutchouc, Paris.

Nous exposerons ici l'ensemble des conclusions et des résultats pratiques des travaux que nous avons entrepris ces dernières années à l'I. R. C. I. concernant l'analyse minérale de tissus et produits de l'hévéa et qui ont été discutés en détail dans diverses publications (cf. Bibliographie).

Nos observations et les lois ou critères qui en ont été tirées, portent sur des dizaines de milliers d'analyses effectuées sur des feuilles, des latex ou des graines provenant de sujets d'âges et d'origine génétique différents placés dans les conditions les plus diverses de sol, de saison et de systèmes d'exploitation.

Ces lois et ces critères ont servi de base à l'établissement d'une méthode *directe* et *générale* (diagnostic physiologique) qui permet de déterminer et de *contrôler à tous moments* l'état physiologique des cultures, c'est-à-dire de définir leurs possibilités et leurs besoins.

Cette méthode permet donc ainsi d'envisager ; compte tenu de ces possibilités et de ces besoins ; soit d'intensifier l'exploitation sans aucun danger pour la santé des hévéas (stimulation par enduit à base d'hormones, injections, intensification de la saignée, etc...) soit d'effectuer des apports compensateurs au sol pour corriger des carences reconnues, soit de combiner l'intensification de l'exploitation et l'apport d'éléments au sol, ce dernier dans le but d'aider la plante à *corriger un déséquilibre éventuel* du métabolisme minéral provoqué par cette intensification d'exploitation.

Nous exposerons succinctement ces lois et critères de bases ; le mécanisme de cette méthode et les résultats déjà effectivement acquis par son application dans le domaine pratique.

Avant de commencer cet exposé, nous soulignerons qu'un point particulier de cette méthode est qu'elle est basée essentiellement sur l'*étude comparative* de l'*assimilation minérale* (analyse des feuilles) et de l'*utilisation des éléments minéraux assimilés* (analyse des latex et éventuellement des graines). Cette particularité lui permet d'être une méthode *directe* et *géné-*

rale ; *directe* car pour son emploi, il n'est pas nécessaire de se référer à un témoin ; *générale* car l'on peut sans restriction « diagnostiquer » à *n'importe quel moment désiré* l'état physiologique de *n'importe quel hévéa*.

I. — EXPOSÉ ET DISCUSSION DES NOTIONS, CRITÈRES ET LOIS PHYSIOLOGIQUES QUI ONT SERVI DE BASE À L'ÉTABLISSEMENT DE LA MÉTHODE DE DIAGNOSTIC

Ces notions, critères et lois physiologiques ont été tirées d'analyses effectuées aussi bien dans les feuilles que dans les latex et les graines d'hévéa ; certaines se limitent à un seul de ces constituants (feuilles, latex ou graines), d'autres relient directement les compositions de ces constituants, soit entr'eux, soit à la production, à la stabilité des latex, ou à la santé des arbres. Toutes ces variables se limitent réciproquement par un ensemble de réactions d'équilibres.

1° RELATIONS ÉTABLIES ENTRE LES CONSTITUANTS DES FEUILLES.

-- Toute variation de la teneur d'un élément minéral à un moment donné entraîne corrélativement une variation de *même sens* ou de *sens contraire* pour un ou plusieurs autres éléments quelles que soient leurs importances pondérales relatives.

— Le rapport des deux éléments antagonistes K et Ca peut être considéré comme reflétant, dans une certaine mesure, l'ensemble des équilibres chimiques au niveau des feuilles puisque les variations de l'azote, du soufre, du phosphore, du fer et du cuivre, sont rattachées à celles de K et que les variations du magnésium, du manganèse et du sodium sont rattachées à celles de Ca. (cf. figure 1).

Les éléments du premier groupe cité sont rattachés au système aqueux des feuilles, les éléments du second groupe l'étant à la matière sèche.

— Les variations du rapport K/Ca sont en corrélations inverses hautement significatives avec les variations du rapport Mn/Cu à l'échelon oligo-éléments. Cette constatation constitue l'un des critères sur lesquels repose le diagnostic (Critère C 1).

— La rigueur des relations qui se manifestent entre les éléments dans un même groupe ou d'un groupe à l'autre, varie au cours de l'année ; ces corrélations apparaissent le plus nettement en mars (juste après la refoliation) et en décembre (juste avant l'hivernage) elles ont été trouvées plus irrégulières en juin et dans des cas de carences minérales.

— Les éléments du « groupe potassium » pondéralement les plus importants lors de la croissance (refoliation) ont ensuite tendance à « migrer » au fur et à mesure que les éléments du « groupe calcium » s'accumulent jusqu'à l'hivernage. Le cas du magnésium qui entre en partie dans la constitution de la chlorophylle est ici un peu spécial, car il existe également dans les feuilles sous une forme ionisée susceptible de migrer. Notre hypothèse

est que cette partie ionisée est déplacée progressivement par l'ion Ca^{++} au fur et à mesure de l'assimilation de ce dernier donnant lieu en particulier à la formation d'un oxalate de calcium plus insoluble donc plus stable que celui de Mg^{++} (*).

— Les éléments N, P et K des feuilles ont pu être reliés entr'eux par une formule générale applicable à tous les hévéas quels qu'ils soient, à condition que le sol indépendamment de son origine puisse répondre à leurs besoins.

On a la relation générale (**)

$$\boxed{N \simeq a K \simeq a^2 P} \quad (\text{I})$$

formule dans laquelle le coefficient d'assimilation « a » admet une certaine possibilité de variation entre des limites allant grosso modo de 3,4 à 4,3 (cf. figure II et tableau I).

Cette valeur du coefficient « a » ne varie dans de larges limites que dans les cas de carences minérales, ou de déséquilibres physiologiques provoqués par une exploitation particulièrement intense, déséquilibre pouvant être passager ou permanent selon les ressources minérales du sol (cf. figure II).

— Le rapport du soufre au phosphore dans les feuilles doit être sensiblement de l'ordre de l'unité :

$$\boxed{S \simeq P} \quad \text{ou} \quad \boxed{S/P \simeq 1} \quad (\text{II})$$

2° RELATIONS ÉTABLIES ENTRE LES CONSTITUANTS DES LATEX.

— Tous les éléments minéraux des latex varient *dans le même sens* et à l'inverse de la teneur en caoutchouc. Ils sont donc rattachés à la phase liquide ou dispersante : le sérum (cf. figure I).

— Les teneurs en *potassium* rapportées au sérum sont pratiquement peu influencées par les facteurs qui conditionnent habituellement la variabilité du latex, *exception faite des cas de carences minérales*. Dans tous les cas où le sol peut répondre aux besoins de l'hévéa, la valeur du potassium est donnée par la relation générale :

$$\boxed{K \% \text{ sérum des latex} = 0,28 + 0,04} \quad (\text{III})$$

(*) L'expérience a montré en effet qu'un apport de calcium au sol ayant été fortement assimilé dans les feuilles (teneurs doublées par rapport au témoin) a provoqué une augmentation de 79 % de la teneur en magnésium dans les latex. Il s'agissait d'un cas de carence reconnue en calcium ; une augmentation de production corrélative de l'ordre de 30 % sur une période de 10 mois après l'épandage de chaux a pu être enregistrée également.

(**) Il nous a été possible en effet de démontrer que cette relation est applicable à tous les chiffres fournis par la littérature concernant des analyses effectuées sur des feuilles d'hévéas d'origines les plus diverses. Il en est de même de la relation (V) concernant ces mêmes éléments dans les latex.

La vérification de cette valeur est la première détermination que nous effectuons lorsque nous établissons un « diagnostic ».

— Les teneurs en *phosphore* sont plus influençables et ont tendance à augmenter assez fortement sous l'effet des facteurs favorables à la production (enduits d'hormones, engrais appropriés, injections) et à diminuer dans les cas contraires (carences alimentaires, exploitation insuffisamment intense, etc...). En conséquence, on vise directement l'augmentation de production chaque fois que l'on provoque par un moyen quelconque une baisse du rapport K/P dans les latex par augmentation de P, la valeur de K n'étant pas modifiée ; cette baisse du rapport K/P conduit à un déséquilibre minéral passer que l'on provoque volontairement, le tout est de bien savoir si d'une part, l'état physiologique des arbres visés permet d'envisager la création de ce déséquilibre passer sans danger pour la plante et si d'autre part, le sol est en mesure d'aider ces arbres à rétablir leur équilibre normal en répondant aux besoins ainsi créés délibérément. Le diagnostic physiologique que nous établissons vise à répondre à ces questions.

— Les teneurs en *magnésium* sont plutôt conditionnées par l'origine végétale.

— Les teneurs en *azote* et *cuivre* semblent plutôt influencées par des facteurs d'ordre climatique ou saisonnier.

— Le rapport Mg/P des latex est une caractéristique clonale importante et conditionne la stabilité naturelle des latex.

L'étude de ce rapport nous a amené à vérifier que la *stabilité naturelle* des latex est la meilleure lorsque ce rapport tend vers l'unité. Cette observation nous conduit à la relation générale : (*)

$$\boxed{\text{Mg} \simeq \text{P}} \quad \text{ou} \quad \boxed{\text{Mg/P} \simeq 1} \quad (\text{IV})$$

Ce rapport peut, toutefois, comme nous le verrons, être modifié délibérément sous l'effet d'une alimentation appropriée ou d'une stimulation ; sa connaissance peut, en conséquence, permettre de déterminer le choix d'un matériel végétal compte tenu de l'origine du sol (volcanique, alluvionnaire, etc...) sur lequel on veut l'implanter.

— Un point particulier des latex est la teneur extrêmement faible de l'élément calcium, réduit au niveau d'oligo-élément ; son rôle au sein du latex paraît négligeable, l'explication est que cet élément s'accumulant dans les feuilles ne migre pas vers les produits de translocation terminaux tels que latex ou graines. Nous avons pu démontrer que son assimilation favorise l'utilisation à partir des feuilles des éléments « migrants » que l'on retrouve notamment dans les latex ; cette action est étroitement et directement favorable à la production à condition que les réserves en éléments migrants N, P, K, Mg soient suffisantes et bien équilibrées.

(*) Une relation similaire a été également établie dans le cas de latex centrifugés par PHILPOTT et WESTGARTH en Malaisie.

— L'utilisation au niveau des panneaux laticifères des éléments N, P et K s'effectue normalement selon des rapports déterminés que l'on peut formuler par la relation générale suivante :

$$2 N \simeq a K \simeq a^2 P \quad (V)$$

où l'on retrouve le coefficient « a » mentionné pour les éléments des feuilles. Ce coefficient ne varie dans de larges limites que sous l'influence des mêmes facteurs qui le font varier dans le cas des feuilles. Certains de ces facteurs peuvent d'ailleurs être très favorables à une augmentation de production ; en particulier ceux qui favorisent un déséquilibre minéral vers une diminution des rapports K/P et N/P. Ce déséquilibre et l'augmentation de production qui en résulte sont passagers, l'arbre tendant à rétablir de lui-même son équilibre normal en puisant dans le sol, les éléments minéraux qui lui sont nécessaires. *Si ces éléments lui font défaut*, le déséquilibre initial s'accroît et la production tombe alors rapidement en dessous de la « normale » ; le bilan général de l'opération est alors illusoire ou négatif car il s'effectue uniquement au détriment des réserves, donc de l'état physiologique des arbres ; dans ce cas il faut prévoir d'urgence des apports compensateurs au sol.

A noter que si l'utilisation des éléments K et P dans l'élaboration du latex s'effectue dans le rapport de leur assimilation, celle de l'azote se fait dans un rapport moitié moindre.

— Le rapport du cuivre au potassium au sein des sérums doit être de l'ordre de un à mille.

$$K/Cu \simeq 1.000 \quad (VI)$$

Une variation très importante de la valeur de ce rapport peut être un indice d'un mauvais métabolisme minéral résultant d'une carence qu'il y a lieu de déterminer.

3° RELATIONS ÉTABLIES ENTRE LES CONSTITUANTS DES GRAINES.

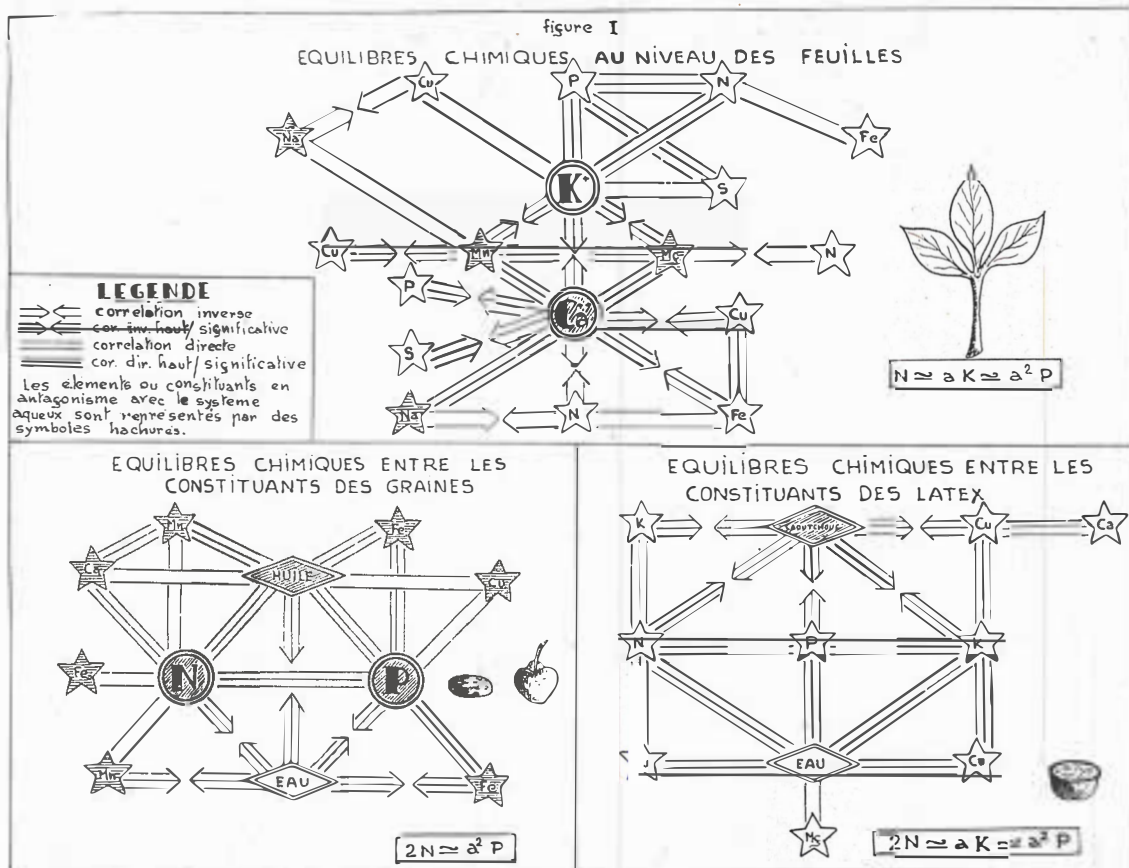
— Tous les éléments minéraux des graines varient *dans le même sens* et à l'inverse des teneurs en eau. Ils sont rattachés aux variations des teneurs en huile (cf. figure 1).

— Les rapports reliant les variations des teneurs en huile et azote, huile et phosphore, azote et phosphore, phosphore et fer sont approximativement constants.

— L'utilisation des éléments N et P au niveau des graines s'effectue dans le même rapport que dans les latex, nous retrouvons ici la relation générale entre N et P mentionnée dans le cas des latex :

$$2 N \simeq a^2 P \quad (V \text{ bis})$$

— L'importance pondérale de l'élément calcium est très faible puisque ses teneurs sont de l'ordre de celles du fer.



Cette observation est analogue à celle qui a déjà été faite dans le cas des latex et nous paraît caractéristique des produits de translocation.

4° RELATIONS ENTRE LES COMPOSITIONS DES FEUILLES, DES LATEX ET DES GRAINES.

— Les variations du rapport K/Ca, reflet dans certaines conditions des équilibres minéraux au niveau des feuilles, sont en corrélations *inverses* hautement significatives pour une *époque donnée* avec les teneurs en magnésium des latex (Critère : C. 2).

— Les variations du rapport K/Ca sont également en corrélation hautement significatives mais *directes* avec les teneurs en caoutchouc des latex (Critère : C. 3).

— Les rapports des éléments N, P, K entre feuilles et latex sont assez variables selon les cas, mais ces variations s'effectuent normalement dans le même sens et dans les mêmes proportions réciproques pour chacun des 3 éléments. Ceci fait que dans des conditions normales de production et de végétation (ni carence, ni stimulation, ni apport d'engrais inconsiderés) les valeurs de K feuilles/K latex sont égales à celles de P feuilles/P latex et ont une valeur de moitié inférieure à celles de N feuilles/N latex.

On a la relation suivante, corollaire de I et V.

$$\frac{N \text{ feuilles}}{2 N \text{ latex}} \simeq \frac{K \text{ feuilles}}{K \text{ latex}} \simeq \frac{P \text{ feuilles}}{P \text{ latex}} \quad (\text{VII})$$

Cette relation indique nettement que l'assimilation et l'utilisation normales d'un des éléments N, P ou K est conditionnée par l'assimilation des deux autres dans des rapports réciproques bien déterminés.

Ces rapports prennent des valeurs *fortement divergentes entr'elles* dans des cas de carences minérales ou d'exploitation intensifiée, ce qui est logique puisque ces cas sont à l'origine de tout déséquilibre du métabolisme minéral (Voir fig. 3),

— Les variations des teneurs en caoutchouc des latex et des teneurs en huile des graines sont en corrélation directe hautement significatives. Ceci laisse entendre qu'il existe un antagonisme général entre les éléments minéraux des latex variant à l'inverse des teneurs en caoutchouc et ces mêmes éléments minéraux des graines variant dans le même sens que les teneurs en huile. Autrement dit, on peut prévoir l'existence d'une concurrence équilibrée des besoins en éléments minéraux pour l'élaboration du latex d'une part, des graines d'autre part.

5° RELATIONS ENTRE PRODUCTION, STABILITÉ DES LATEX, SANTÉ DES ARBRES ET MÉTABOLISME MINÉRAL.

— Il nous a été possible de rattacher très étroitement et très fidèlement les variations des productions à certaines variations caractéristiques du métabolisme minéral.

Pour nous résumer, nous pouvons dire que :

« La production d'un matériel végétal donné est en rapport direct avec son assimilation calcique à condition que ce matériel possède des réserves suffisantes et équilibrées en éléments N, P, K et Mg. »

Autrement dit, cette production est limitée soit :

a) par un manque de réserves minérales par rapport à l'amplitude de l'assimilation calcique ce qui conduit à des précoagulations spontanées sur les encoches de saignée. Le rapport K/Ca des feuilles devient trop faible et corrélativement le rapport Mg/P des latex trop fort provoquant l'instabilité naturelle des latex par un phénomène apparemment d'ordre physico-chimique qui de toute façon, exprime un déséquilibre accentué du métabolisme minéral (V. fig. 3).

b) par une assimilation calcique défectueuse d'où résulte une accumulation de ces éléments N, P, K et Mg dans les feuilles, c'est-à-dire une mauvaise utilisation de ces éléments pouvant également provoquer des précoagulations naturelles sur encoches par suite d'un déséquilibre minéral en sens inverse du précédent (V. fig. 3).

— Il est bien évident que les variations de l'*assimilation minérale résultent* de l'influence conjuguée de nombreux facteurs naturels ; climatologie, physiologie, etc... ou artificiel ; intensité d'exploitation, stimulation, etc... qui créent des besoins à l'arbre et auxquels le sol doit répondre.

— Si l'on rappelle que d'une part un bon équilibre entre les éléments manganèse et cuivre des feuilles conditionne la fréquence des précoagulations sur encoches et que d'autre part un apport de cuivre au sol dans certains cas de carences minérales bien déterminées, favorise l'assimilation notamment du potassium et du phosphore ; on peut finalement affirmer que chacun des éléments minéraux N, P, K, Ca, Mg, Mn et Cu peut devenir facteur limitant direct de la production (*).

II — EXPOSÉ SUCCINCT ET DISCUSSION DE LA MÉTHODE DE DIAGNOSTIC ÉTABLIE A PARTIR DES DONNÉES PRÉCÉDENTES

Le diagnostic que nous établissons repose sur l'analyse des éléments N, P, K, S, Ca, Mg, Mn et Cu dans les feuilles, des éléments N, P, K, Mg et Cu dans les latex. On analyse également les teneurs en caoutchouc des latex.

(*) Il nous a été possible à ce sujet de démontrer notamment qu'un simple apport de sulfate de cuivre (12 kg/ha) épandu à la volée sur un sol où la carence cuprique avait été reconnue, augmentait significativement et rapidement la production de caoutchouc des arbres.

Il nous est actuellement possible de déterminer *directement* pour tous les hévéas en exploitation, les carences en éléments : N, P, K, S, Ca, Mg, Mn et Cu à partir des résultats d'analyses précédents.

Nous n'utilisons pas encore la composition minérale des graines qui nous le pensons, pourra servir ultérieurement à diagnostiquer un peu plus à fond l'état de jeunes cultures non encore en exploitation. Il est toutefois possible dès à présent de connaître les besoins en éléments N, P, K, S de ces jeunes cultures par application des relations (I) et (II) énoncées précédemment.

Les méthodes de prélèvement et d'analyses sont décrites dans la bibliographie, rappelons cependant que les pétioles des feuilles prélevées sont coupés au ras du limbe et éliminés ; ces feuilles doivent toujours être de l'année et arrivées à maturité. Les dates de prélèvement sont indifférentes, mais il est toutefois préférable d'effectuer les diagnostics aux périodes de fortes productions c'est-à-dire au moment où les besoins de l'arbre en éléments minéraux sont les plus intenses et où des déséquilibres possibles du métabolisme minéral sont par conséquent les mieux mis en évidence.

Processus d'interprétation des résultats.

Les éléments minéraux des feuilles déterminés par l'analyse sont rapportés en % de matière sèche ; les éléments minéraux des latex en % du sérum.

On effectue les rapports N/K, N/P, S/P, K/Ca et Mn/Cu dans les feuilles, N/K, N/P, K/P, Mg/P et K/Cu dans les latex ; N/N, K/K et P/P entre feuilles et latex.

Le tableau 1 ci-dessous groupe les différentes valeurs que peuvent prendre certains de ces rapports dans les feuilles ou les latex selon les conditions de végétation (*).

Ces valeurs ont été établies à l'I. R. C. I. au cours des années 1951-1952 1953-1954 et 1955 pour des parcelles très diverses plantées soit à Laikhê, soit sur différentes plantations d'Indochine en terres rouges ou en terres grises. Nous avons pu en confirmer et en généraliser la plupart pour tous les hévéas quel que soit le pays où ils sont plantés (cf. Bibliographie : E. R. Beaufils, Annales Agronomiques, N° 2, mars-avril 1956, p. 205).

Pour toutes les valeurs que nous étudions lors de l'interprétation, nous avons adopté le système de représentation schématique suivant :

Une flèche horizontale pour un équilibre normal.

Une flèche inclinée vers le haut ou vers le bas pour une tendance au déséquilibre.

Une flèche verticale dirigée vers le haut ou vers le bas pour un déséquilibre marqué.

(*) Les différentes valeurs limites ont été calculées compte tenu des erreurs aux échantillonnages et aux dosages de chacun des éléments intéressés.

TABLEAU 1

Rapports		Valeurs considérées comme normales	Valeurs dénotant une tendance au déséquilibre	Valeurs dénotant des rapports fortement déséquilibrés
K/P	Feuilles	de 3,4 à 4,3 (a)	de 2,9 à 3,3	au-dessous de 2,9
	Latex	id. (a)	et de 4,4 à 4,8 id.	et au-dessus de 4,8 id.
N/K	Feuilles	id. (a)	id.	id.
	Latex	de 1,6 à 2,1 (a/2)	de 1,3 à 1,5 et de 2,2 à 2,4	au-dessous de 1,3 et au-dessus de 2,4
N/P	Feuilles	de 12,7 à 16,1 (a ²)	de 10,8 à 12,6 et de 16,2 à 18,0	au-dessous de 10,8 et au-dessus de 18,0
	Latex	de 6,2 à 8,0 (a ² /2)	de 5,3 à 6,1 et de 8,1 à 9,0	au-dessous de 5,3 et au-dessus de 9,0
S/P	Feuilles	de 0,8 à 1,2	de 0,5 à 0,7 et de 1,3 à 1,5	au-dessous de 0,5 au-dessus de 1,5
Mg/P	Latex	de 0,8 à 1,2	de 0,5 à 0,7 et de 1,3 à 1,5	au-dessous de 0,5 au-dessus de 1,5
K/Cu	Latex	de 800 à 1.200	de 500 à 700 et de 1.300 à 1.500	au-dessous de 500 au-dessus de 1.500
K %	Sérum	de 0,26 à 0,30	de 0,24 et 0,25 0,31 et 0,32	au-dessous de 0,24 au-dessus de 0,32
Représentation schématique				

On définit la situation pour un élément donné en comparant les 2 flèches correspondant aux 2 équilibres dans lequel il figure.

exemple : N/K ↑ et K/P ↓ indique une carence en potassium, etc...

Cette représentation schématique correspond à la figure II qui permet par un système de lecture directe de déterminer la valeur relative des éléments N, P et K dans les feuilles. Un dispositif semblable peut être adopté pour l'utilisation de ces éléments au sein des latex en se rapportant aux chiffres du tableau I.

Pour ce qui concerne les valeurs des équilibres K/Ca et Mn/Cu nous avons établi des zones de correspondances entre leurs variations réciproques d'une part et celles d'autre part des D. R. C. (teneur en caoutchouc des latex), des teneurs en magnésium des latex (rapportées à l'extrait sec) et de la fréquence des précoagulations sur encoche.

Ceci exposé, la situation respective de chaque élément se détermine de proche en proche selon le processus suivant :

1^o La première valeur considérée est celle du potassium rapporté au sérum des latex (tableau 1), cette valeur étant en effet la *seule donnée* pour un élément en *valeur absolue* est très importante car *elle fixe le niveau* des rapports étudiés par la suite.

2^o Sa connaissance permet de déterminer la situation des éléments N, P et Cu au sein des latex par l'étude des rapports N/K, K/P, N/P et K/Cu des latex.

3° La connaissance de P permet ensuite de déterminer la situation de Mg dans le latex par l'étude du rapport Mg/P.

4° L'étude des rapports N/K, N/P, et K/P des feuilles permet de déterminer directement d'après le tableau 1, les situations respectives des éléments N, P et K dans les feuilles.

5° L'étude des rapports N/N, K/K et P/P entre feuilles et latex permet de déterminer leurs situations en valeurs absolues.

6° Connaissant la situation de P, dans les feuilles, on en détermine directement celle de S par l'étude du rapport S/P.

7° Connaissant la situation du potassium dans les feuilles et du magnésium dans les latex, on peut déterminer celle du calcium par l'étude du rapport K/Ca dans les feuilles (critère C. 2).

8° On compare également la valeur du rapport K/Ca à celle du D. R. C. et l'on tiendra compte également de la valeur de la stabilité naturelle des latex (critère C. 3).

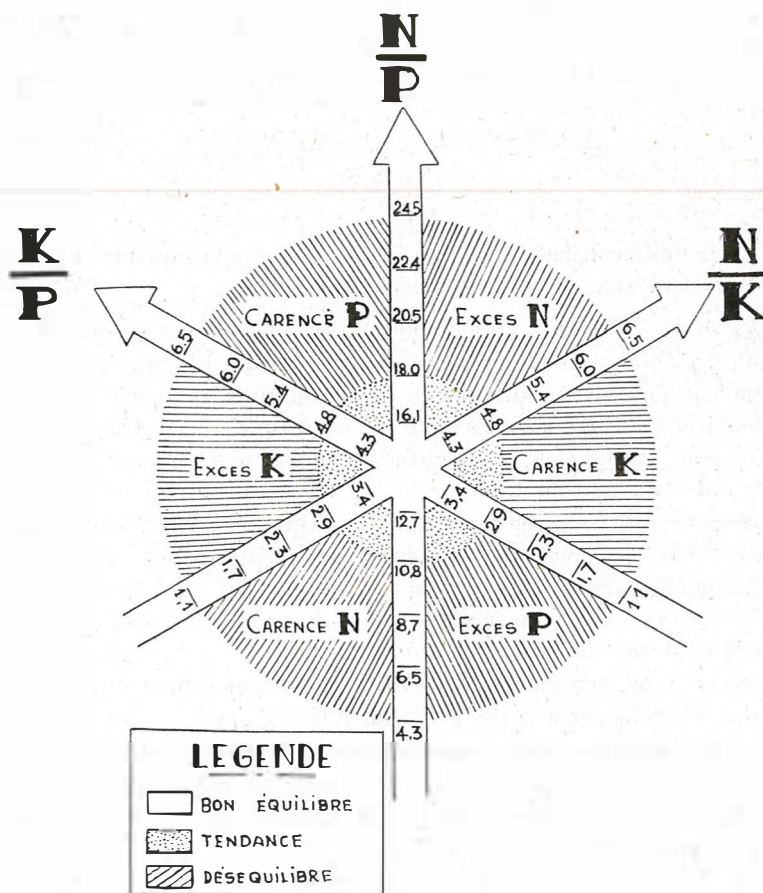


FIG. 2. — Recherche de carence par l'étude de l'équilibre N - P - K dans les feuilles de l'hévéa.

9° Compte tenu de ces notions, une teneur insuffisante du magnésium dans les latex correspondant à des valeurs normales pour K et Ca indique une carence magnésienne.

10° De même une teneur en cuivre insuffisante dans les latex correspondant à des teneurs normales en éléments K et Ca indique une carence cuprique.

11° Enfin connaissant la situation des éléments K, Ca et Cu, on en détermine la situation pour le manganèse d'après l'examen des zones d'équilibres entre les rapports K/Ca et Mn/Cu (*) (Critère C. 1).

III — RÉSULTATS ET OBSERVATIONS PRATIQUES TIRÉES DE CE CONTROLE PHYSIOLOGIQUE

De nombreuses expériences d'apports minéraux au sol ont été effectuées d'après les données de ce diagnostic : ces expériences montées selon les principes des statistiques agronomiques ont permis de contrôler périodiquement les diverses variations du métabolisme minéral en enregistrant corrélativement les fluctuations de la production et de la stabilité des latex.

Nous résumons ci-dessous les résultats obtenus et les observations pratiques que nous avons pu tirer de ces expériences.

— L'assimilation minérale des éléments compensateurs apportés au sol est très rapide pour l'hévéa ; de un à quatre mois pour des épandages effectués « à la volée ».

— Les besoins de l'hévéa en éléments minéraux varient au cours de l'année pour un pays comme l'Indochine où les périodes physiologiques suivent de très près des fluctuations saisonnières particulièrement bien marquées.

— Les besoins en éléments N, P, K sont les plus élevés au moment de la refoliation. Du degré d'assimilation de ces éléments à cette période dépendra dans une large part les productions des mois futurs.

— Les besoins en chaux se feront de plus en plus sentir lors de la migration des premiers, cet élément basique bivalent servant de régulateur aux processus de synthèse des matières protéiques.

— Compte tenu de la rapidité de l'assimilation, des besoins de l'hévéa, du degré de solubilité des produits apportés au sol et de leurs interactions ioniques ; un apport de N, P ou K devra se faire entre mi-novembre et mi-février un apport de Ca, début mai. Il est toujours préférable d'effectuer le plus grand nombre d'épandages possibles.

— Dans un cas de carence reconnu en phosphore, l'emploi du phosphate tricalcique très peu ionisé est à rejeter.

(*) La détermination rigoureuse de la situation des éléments Mn et Cu n'est pas strictement obligatoire, puisqu'en principe on ajoute automatiquement du sulfate de cuivre à un engrais du type N, P, K. Mg, épandu *avant refoliation*.

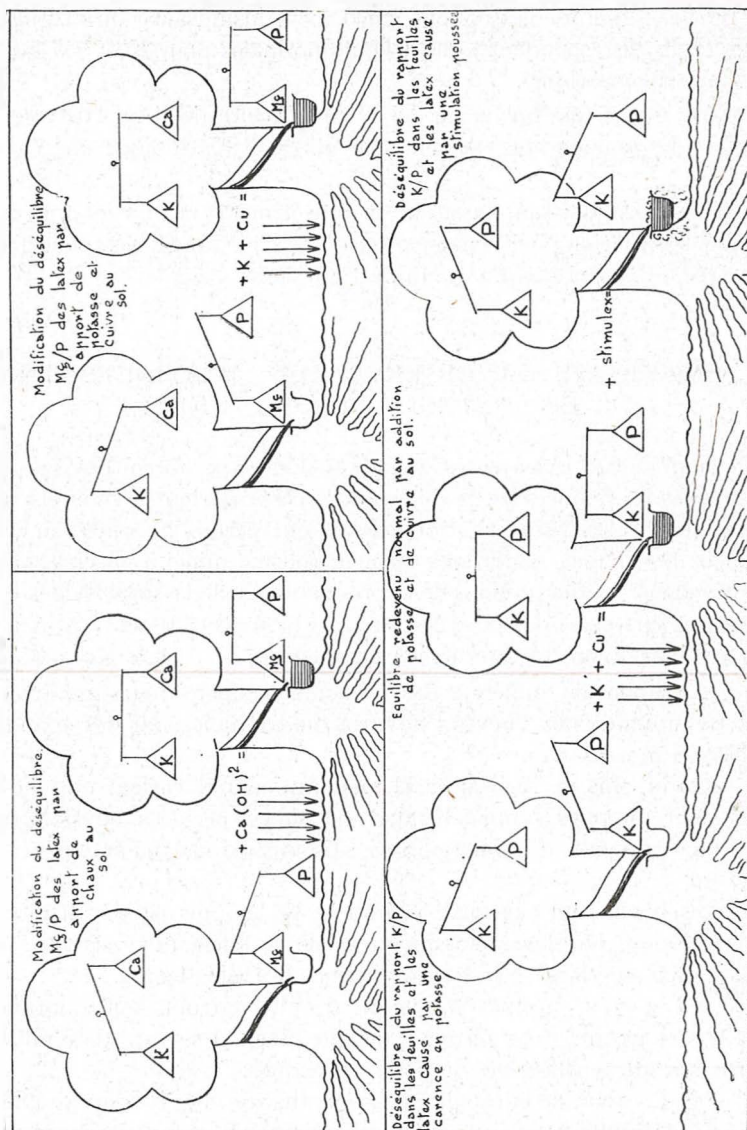


FIG. 3. — Quelques aspects des modifications de la composition minérale des latex par rapport à la composition minérale des feuillages en fonction des conditions de l'assimilation des arbres.

— L'addition de sulfate de cuivre à un produit du type N, P ou K est recommandable compte tenu du pH du sol (entre 4 et 5), on devra par contre éviter d'ajouter du sulfate de cuivre à un engrais calcique quand il y a lieu de corriger une carence en Ca.

— Au cours des diverses expériences établies à partir des résultats du diagnostic physiologique dont les principes et la méthode sont énoncées

ici, l'apport au sol *dans les conditions favorables que nous venons de décrire* des produits commerciaux tels que : chlorure de potassium, sulfate de potassium, chaux vive, phosphate bicalcique, sulfate d'ammoniaque et sulfate de cuivre ont amélioré l'état physiologique des parcelles traitées favorisant des *augmentations de productions rapides, substantielles et rentables dans tous les cas.*

— Des diagnostics physiologiques sont effectués actuellement de façon automatique et périodique sur *toutes les grandes plantations d'Indochine sans exception.* Au cours de l'année 1955 un total de 300 *diagnostics* a été établi pour ces Sociétés de plantations du Vietnam et du Cambodge qui ont permis dans tous les cas de préconiser des formules d'apports minéraux compensateur au sol. En plus des produits mentionnés ci-dessus et qui ont déjà fait leurs preuves des apports au sol d'autres produits moins usités tels que dolomites, phosphates d'ammoniaque, sulfate de magnésium, sulfate de manganèse, soufre en fleur, etc... viennent d'être effectués ; les contrôles sont en cours.

A la demande des planteurs, il est prévu pour l'année 1956 de doubler le nombre de ces diagnostics physiologiques.

CONCLUSIONS

En complétant la notion et l'étude de « l'assimilation » minérale par la notion et l'étude de « l'utilisation » des éléments assimilés, il a été possible d'établir une méthode *directe et générale* de détermination de l'état physiologique d'une culture et par conséquent de connaître ses besoins et de les satisfaire rapidement.

La connaissance *suivie* de l'état physiologique des parcelles permet de tirer constamment parti des possibilités potentielles de ces cultures par des procédés appropriés d'intensification d'exploitation sans aucun danger pour la santé des arbres ; cette connaissance permet également de corriger des déséquilibres minéraux existants ou qui ont pu être créés par une exploitation intensive, ceci, en effectuant des apports compensateurs au sol judicieusement formulés et dosés.

Il n'est pas impossible de penser que des méthodes similaires basées sur ces mêmes principes « d'assimilation et d'utilisation comparée » puissent être établies pour d'autres cultures que l'hévéa en étudiant le métabolisme minéral des feuilles et en le comparant à celui du (ou des) produit final résultant des processus de translocation des éléments minéraux à partir des feuilles. De toute façon reprenant les propres termes de Prévot et Ollagnier : « l'utilisation plus rationnelle du diagnostic foliaire réclame des recherches de la physiologie sur les innombrables facteurs qui relient la relation : Rendement = f (teneurs en éléments minéraux) ».

Ce travail de recherche dont nous venons d'exposer les principaux résultats fait partie du programme de l'I. R. C. I. concernant l'étude de l'analyse des plantes et du problème des engrais minéraux ; nous tenons

à remercier son directeur Monsieur P. Compagnon pour ses conseils judicieux et ses encouragements.

Nous tenons à remercier particulièrement Monsieur le professeur J. E. Courtois qui depuis son passage à notre station de Laikhê (Sud-Vietnam) s'est intéressé à notre travail et a bien voulu nous éclairer de ses conseils éminents.

Nos remerciements vont également à tous les planteurs d'Indochine et spécialement aux dirigeants de la Société Michelin et à leurs ingénieurs dont Monsieur Ch. Vogel (Chef du bureau de culture de cette Société) pour leur collaboration financière et technique, facteur limitant le plus important de l'obtention de résultats pratiques valables.

Nous n'oublierons pas de remercier également les membres de notre équipe vietnamienne et spécialement Monsieur Vo-Thanh-Long pour leur assistance technique dévouée et solide.

BIBLIOGRAPHIE

- E. R. BEAUFILS. Rapports annuels de l'I. R. C. I. pour les années 1949-1950-1951-1952-1953-1954 et 1955.
- G. W. CHAPMAN. Leaf analysis and plant nutrition. *Soil Science*, 52, 53 (1941).
- E. R. BEAUFILS. Méthodes d'analyses utilisées à l'I. R. C. I. pour le dosage de neuf éléments minéraux dans les latex et les feuillages. *Caoutchouc, Série Indochine*, n° 12, août 1954, pp. 5-22.
- P. TIXIER et E. R. BEAUFILS. Diagnostic foliaire de l'hévéa : application à une expérience d'engrais en terre grise, *Archief voor de Rubbercultuur*, extra nummer, 1 pp. 70-77. Conférence de Bogor (1953).
- E. R. BEAUFILS. Etude des éléments minéraux dans le latex et plus particulièrement du potassium et du cuivre. *Archief voor de Rubbercultuur*, extra nummer 2, pp. 71-80. Conférence de Bogor (1953).
- E. R. BEAUFILS. Mineral diagnosis of some *Hevea brasiliensis*. *Archives of Rubber Cultivation*, 32, pp. 1-47 (1955).
- E. R. BEAUFILS. Mineral elements in green latex. *Proceedings of the third Rubber Technology Conference*. Londres, 1954.
- E. R. BEAUFILS. Recherches sur la variation des constituants minéraux dans les feuilles et le latex de l'*Hevea brasiliensis*. *Rev. gén. du Caoutchouc*, 32, pp. 323-331 (1955) et *Bulletin de la Société de Chimie biologique*, 37, pp. 349-360 (1955).
- P. COMPAGNON et E. R. BEAUFILS. Sur l'activité du cuivre en tant qu'oligo-élément dans l'assimilation minérale de l'*Hevea brasiliensis*. *C. R. Académie des Sciences*, 240, pp. 1493-1495 (1955), séance du 28 mars 1955.
- E. R. BEAUFILS. Les équilibres minéraux dans le feuillage et dans le latex de l'*hevea brasiliensis*, sous presse, à paraître dans *Les Annales agronomiques* n° 2, mars-avril 1956, p. 205-218.
- E. R. BEAUFILS. Considérations physiologiques sur la composition minérale des graines d'hévéa, sous presse, à paraître dans la revue *Oléagineux*, n° 6, juin 1956, pp. 379-384.
- E. R. BEAUFILS. Capacité clonale de production en rapport direct avec la capacité clonale d'assimilation faisant apparaître une notion de potentiel minéral dynamique chez l'hévéa. *Caoutchouc série Indochine*, n° 14, août 1955, pp. 19-24.
- P. COMPAGNON. Le diagnostic minéral et ses résultats pratiques. *Rev. Gén. du Caoutchouc* 33, pp. 9-11 (1956)
- P. PREVOT et M. OLLAGNIER. Relations entre rendement, croissance et pourcentage en éléments minéraux dans les tissus végétaux ; les niveaux critiques. *Bulletin de la Société Française de Physiologie végétale*, n° 3, 47-54 (déc. 1955).
- J. CAMPAIGNOLLE. Vers l'utilisation de la stimulation comme méthode normale d'exploitation. *Caoutchouc, série Indochine*, n° 14, août 1955, pp. 25-35.
- M. W. PHILPOTT et D. R. WESTGARTH. *J. Rubb. Res. Inst. Malaya* 14, 133, 1953.

DISCUSSION

Dr. LEYTON. — *Existence of numerous interrelationships between various nutrients means that variation in one nutrient following fertilizer application will result in variation in many others. How is this to be controlled in the selection of a particular fertilizis combination for the production of optimum ratios between the various nutrient.*

R. — L'existence des diverses corrélations directes ou inverses qui ont pu être mises en évidence entre des éléments pris deux à deux n'expriment pas nécessairement qu'il existe un lien étroit. Les facteurs mis en cause pour chaque élément sont certainement multiples, tout au plus peut-on penser qu'un facteur dont l'influence est prépondérante, pourra créer une relation directe ou inverse entre la variation de deux éléments. L'intérêt principal de l'existence de ces corrélations est de permettre de supposer l'allure la plus probable de la variation d'un élément d'après celle d'un autre élément et d'inciter à définir la composition minérale d'un tissu par des rapports plutôt que par des valeurs absolues.

La reproduction fidèle et hautement significative de certaines d'entre elles au cours des années nous a incité à étudier plus spécialement le comportement de certains de ces rapports entre éléments sous l'influence des divers facteurs de variations habituelles.

Il nous a ainsi été permis d'établir que dans des « conditions normales de végétation » le rapport N/P dans les feuilles, les latex et les graines, les rapports K/P et N/K dans les feuilles et les latex, le rapport S/P dans les feuilles, Mg/P et K/Cu dans les latex s'écartaient peu de certaines valeurs bien définies, établies d'après des dizaines de milliers d'analyses et qui nous servent actuellement de « normes » pour l'établissement du « diagnostic physiologique ».

Il a été établi par ailleurs que ces valeurs s'écartaient très fortement de celles des « normes » dans des cas de déséquilibres du métabolisme minéral provoqués soit par des carences, soit par une exploitation intensive.

Si les valeurs trouvées par l'analyse minérale des feuilles et des latex correspondent après calcul de ces rapports aux « normes » établies une fois pour toutes après des années de recherche, on déduit par retour que la culture considérée végète dans des conditions « normales de végétation » et peut subir une intensification d'exploitation.

Dans le cas contraire, notre mode d'interprétation des résultats nous permet de déterminer directement la ou les causes provoquant ce déséquilibre. Généralement un simple apport d'éléments compensateurs au sol dont la formule nous est donnée par les conclusions du « diagnostic » permet de rétablir les équilibres minéraux à leurs valeurs « normales ». Ces phénomènes s'accompagnent toujours et rapidement d'une amélioration de la qualité du latex et d'une augmentation de la production.

Cette augmentation de la production ne peut dépasser sous l'effet des apports au sol, une valeur limite correspondant aux « conditions normales de végétation » déterminées pour un matériel végétal donné. Si l'on veut dépasser cette valeur limite, il faut alors stimuler les arbres et prévoir un nouvel apport d'éléments compensateurs au sol dicté par un diagnostic ultérieur.

Dr. LEYTON. — *The proposed optimum ratio of N/P 12,7-16,1 agrees so well with optimum ratio determined by many other workers with different species that it is difficult to believe this is pure coincidence. What are your views ?*

R. — Je suis d'accord avec vous sur le fait qu'il ne peut s'agir d'une pure coïncidence. Je suis heureux de constater ce fait, n'ai pas d'opinion bien arrêtée pour l'instant et possède la conviction que l'on pourra répondre à cette question dans un proche avenir.

Q. — *Do these various ratios N/P, K/Ca etc. vary as much with time of sampling, nature of sample, tree age, etc., as the absolute concentrations of the elements ?*

R. — Les valeurs des rapports N/P, N/K et K/P sont extrêmement peu influencées par les facteurs suivants : influence saisonnière, dates et heures des prélèvements, échantillonnage, âge des arbres, origine du sol (volcanique, alluvionnaire, etc...) et coordonnées géographiques des pays où sont plantés les hévéas etc... (Cf. E. R. Beaufils. Annales Agronomiques, n° 2, mars, avril 1956, p. 205, 217).

Ces valeurs sont par contre extrêmement influencées par des intensifications d'exploitation ou des carences du sol, ce qui permet justement de déterminer ces dernières.

Le rapport K/Ca par contre varie très fortement sous l'influence saisonnière, très élevé au moment de la refoliation il décroît progressivement pour atteindre des valeurs très faibles au moment de l'hivernage.

Dr. CLARK. — *This study represents a most complete report of the practical physiological interpretation. You rely not alone on leaf analysis but also upon sap and fruit analysis. Your experience seems to be extensive with the effects of soil applications and some of the physiological relationships of N, P, K mineral nutrition.*

Evidently these knowledge and experience have ruled out many of the accidental cause-effet relationships normally encountered. Finally 40.000 analysis have helped to refine from your correlations many accidentally cause-effet relationships. Have you studied the chemical status of your soils ?

R. — L'analyse des sols n'est pas effectuée de façon systématique mais uniquement dans certains cas. Ce fut surtout au début de nos recherches pour confirmer certaines carences spécialement d'origine calcique, mises en évidence par le « diagnostic physiologique ».

Soulignons que nous accordons une grande importance à la valeur en pH de nos sols exploités.

Dr HALAIS (Ile Maurice). — *Cette communication qui fait appel à l'étude du végétal dans son ensemble est remarquable car elle est susceptible de constituer un stimulant conduisant à une connaissance plus approfondie du mode d'alimentation d'autres plantes tropicales associé à une production souhaitable dont celle de la canne à sucre par exemple. C'est ainsi que nos recherches les plus récentes à l'Ile Maurice nous ont conduit à combiner le diagnostic foliaire à l'analyse de la tige ou du jus de la canne à sucre afin de trouver des rapports intraplantes qui semblent devoir mieux départager les cas frontières, partant de progresser utilement.*